

明 細 書

太陽光発電装置

技術分野

[0001] 本発明は太陽電池を用いた太陽光発電装置に関する。

背景技術

[0002] 太陽光発電装置システムにおいて効率のよい発電を実現するためには、太陽電池パネルの最良の電氣的動作点(最大電力点)を追跡する制御方法すなわち最大電力点追跡制御(MPPT)が不可欠となる。そのような制御方法としては、電氣的動作点を変動させて太陽電池パネルの出力電力が最大となる動作点を探索する、いわゆる山登り法が知られている。

[0003] 図1は太陽電池パネルの一般的な出力電流-出力電力関係の静特性を示す。前記山登り法やこれに類した方法では太陽電池パネルの出力電流(横軸)を変動させて2点の出力電力(縦軸)をサンプリングし、その大小関係で最大電力点を探索する。例えば、図1の動作点a1と点a2(探索域Sa)における電力をサンプリングした場合には、点a1の電力より点a2の電力の方が大きいので点a2側、すなわち電流の増加方向に最大電力点 P_M が存在することがわかる。一方、動作点c1と点c2(探索域Sc)をサンプリングした場合、点c2の電力より点c1の電力の方が大きいので電流の減少方向に最大電力点 P_M が存在することがわかる。また、動作点b1と点b2(探索域Sb)における電力をサンプリングした場合には、両点の電力が等しいのでこの2点間に最大電力点 P_M が存在すると判断される。

[0004] 家屋の屋根等に設置された太陽電池パネルから電力を取り出す場合には、日射量や温度等の環境変化が緩やかであるため、例えば数分ごとに最大電力点を探索して太陽電池パネルの電氣的動作点を更新すれば発電効率の改善が期待される。また、最大電力点の探索に要する時間も高速である必要はなく、例えば数秒以内に探索が完了する。

[0005] 先行技術としては、日本国特公平5-68722号公報、特開2001-325031号公報、B.K. Bose, P. M. Szczesny & R. L. Steigerwald: "Micro-computer control of a

residential photovoltaic power condition system”, IEEE Transactions on Industrial Application, Vol. IA-21, PP. 1182-1191 (1985)、および高原健爾、山之内庸一、川口秀樹「適応山登り法による太陽光発電システムの最大電力取得制御」電気学会論文誌D, 121巻6号, 689-694頁(2001年)がある。

発明の開示

[0006] 太陽光発電装置をソーラーカー等の移動体に設置した場合には、発電条件の変化が著しく最大電力点も変動するので、常時最大電力点の探査を行う必要がある。さらに変動する最大電力点を探査する時間も短縮しなければならない。最大電力点の探査に要する時間を短縮するためには、電氣的動作点を高速に変動させて探査する必要がある。しかしながら、太陽電池の動作点を高速に変化させると、太陽電池内部キャリアの寿命の影響により図1に示す静特性と異なる特性を示す。すなわち、最大電力点付近で電氣的動作点を高速に変動させると、図2に示すように出力電流-出力電力特性はヒステリシスカーブLhを描く。一般的な太陽電池パネルでは、数百Hzを超える周波数領域でこの現象が顕著となる。この場合には、通常の最大電力点探査法では静特性上の電力が正しくサンプリングできない場合があるため、真の最大電力点を探査して特定することが困難となるという問題点があった。

本発明によれば、電氣的動作点を高速に変動させても正確に最大電力点をきわめて迅速に探査することができるため、発電条件が変動する場合でも常時最大電力を出力することが可能になる。

[0007] 本発明の技術的側面によれば、DC-DCコンバータを介して太陽電池パネルが発生する電力を出力する太陽光発電装置は、前記太陽電池パネルの出力電圧の時間微分値が実質的に零となる時点における前記太陽電池パネルの出力電力に基づいて前記DC-DCコンバータを制御し前記太陽電池パネルの最大電力条件を探査することを特徴とする。

[0008] 本発明の他の技術的側面によれば、DC-DCコンバータを介して太陽電池パネルが発生する電力を出力する太陽光発電装置の制御方法は、前記太陽電池パネルの出力電圧の時間微分値が実質的に零となる時点を検出することと、前記検出された時点における前記太陽電池パネルの出力電力に基づいて前記DC-DCコンバータ

を制御し前記太陽電池パネルの最大電力条件を探索することを特徴とする。

図面の簡単な説明

- [0009] [図1]図1は、太陽電池パネルの出力電流と出力電力の静的状態における関係を表す。
- [図2]図2は、太陽電池パネルの動特性によるヒステリシスループを表す。
- [図3]図3は、太陽電池パネルの出力電圧(V)と出力電力(P)および出力電圧(V)と出力電流(I)の静的状態における関係を表す。
- [図4]図4は、一般的な太陽光発電装置の構成を示す。
- [図5]図5は、ヒステリシスループが生じたときの動作点が移動する様子を示す。
- [図6]図6は、太陽電池パネルの等価回路を示す。
- [図7]図7は、本発明に係る太陽光発電装置の構成を示す。
- [図8]図8は、第一実施形態に係る太陽光発電装置のコントローラの構成を示す。
- [図9]図9は、第二実施形態に係る太陽光発電装置のコントローラの構成を示す。
- [図10]図10は、符号切換器の構成例を示す。
- [図11]図11は、第三実施形態に係る太陽光発電装置の構成を示す。
- [図12]図12は、第三実施形態に係る太陽光発電装置の探索周波数に対する応答特性を示す。
- [図13]図13は、第三実施形態に係る太陽光発電装置の探索条件の最大電力点への収束を示す。

発明を実施するための最良の形態

[0010] 1. 最大電力点追跡(MPPT)制御方法

図3に太陽電池パネル(PV)の静特性を電流-電圧(I-V)関係および電力-電圧(P-V)関係について例示する。ここで P_M は太陽電池パネルの最大出力電力である。通常の最大電力点追跡方法では、最大出力電力点 P_M を追跡するために逐次発生電力を測定し、P-V特性の勾配を求める。この勾配が零になるところが最良動作点 P_M であるため、勾配が零になった時点で太陽電池パネルの動作電圧を保持するように制御する。動作電圧 V_{op} は太陽電池パネルの電力変化に基づいて最良動作点に近づくように変化させる。

[0011] すなわち、 $P(\cdot)$ を図3に示すような出力電圧 V の関数としての太陽電池パネルの出力電力 P 、 ΔV を探索のための掃引信号の振幅であって正値を有するものとして、電力変化 P_{dif} を $P_{dif} \equiv P(V_{op} + \Delta V) - P(V_{op} - \Delta V)$ とする。このとき、(i) $P_{dif} > 0$ のときには V_{op} を増加し、(ii) $P_{dif} < 0$ のときには V_{op} を減少し、(iii) $P_{dif} = 0$ のときにはそのときの V_{op} を保持するように動作電圧 V_{op} を制御する。動作電圧 V_{op} は図4に示すDC-DCコンバータ11のスイッチングの通流率を制御電圧 V_c により制御することにより調整される。

[0012] 2. 太陽電池の動特性に適応する最大電力点追跡制御方法の原理

上述した通常の最大電力点追跡方法では動作電圧を高周波数で掃引する場合に図2に示すようなヒステリシス特性により真の最大電力点を把握することが困難となることはすでに述べた。すなわち、図5に示すように掃引周波数の上昇に伴い動特性がヒステリシスループを描くため通常のMPPT法では最大電力点近傍に収束しない。図5において、本来曲線 I_s で表示される静特性カーブ上では動作点である点Aから最大電力点 $P_M(V_M, I_M)$ を経由して点Bに移動すべきである。ところが高速な動作電圧の掃引によって曲線 I_D で表示される動特性が生じた場合には動作点が点Aから点B'に移動する。次いで点C'、点D'、点E'へと移動して最大電力点 P_M に収束せずむしろ最大電力点 P_M から遠ざかってしまう。

[0013] この現象は太陽電池内部キャリアの寿命の影響によるものとされ、太陽電池パネルは図6に示すような等価回路で表すことができる。静特性の等価回路は正味の起電力 101 と内部抵抗 R で記述できるが動特性も考慮した等価回路では等価キャパシタ C を加味しなければならない。等価キャパシタ C は動特性で顕著となる要素であって周波数応答においてタイムラグを発生させ上記ヒステリシス特性の原因となるため等価キャパシタの存在が最大電力点の追跡を困難とする。ところが動特性におけるヒステリシスループ I_D は必ず2点において真の静特性カーブ I_s と交わる。発明者は、動作点Bおよび点C等における出力電流、出力電圧および出力電力は真の静特性を反映しているためこれらの値に基づいて正しい最大電力点を探索することが可能となる点に着目した。

[0014] 等価キャパシタ C を流れる電流 i_c は、太陽電池パネル10の出力電圧を $e(t)$ として、

[数1]

$$i_c = C \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

[0015] と表すことができる。このとき $i_c = 0$ 、すなわち $de(t)/dt = 0$ の時には等価キャパシタ C の影響がなくなり静特性と一致する。発明者は、最大電力条件探査における太陽電池パネルの出力電圧 $e(t)$ の時間微分値 $de(t)/dt$ の挙動に着目し、時間微分値 $de(t)/dt$ が零となる時点を検出することにより動作電圧を高周波数で掃引する場合であっても最大電力点の適切な探査を行うことができることを見いだした。

[0016] 第1実施形態

図7には本発明に係る太陽光発電装置1の構成を示す。太陽電池パネル10の発生電力はDC-DCコンバータ11を介して負荷Lに出力される。コントローラ20は太陽電池パネル10の出力電圧 $e(t)$ および出力電流 $i(t)$ に基づいて出力電力 $p(t)$ および出力電圧の時間微分値 $de(t)/dt$ を検出する。演算部20は、 $de(t)/dt$ が実質的に零となる時点を検出しその時点における出力電力 $p(t)$ を演算する。1つの動作点 V_{op} について探査のための揺動電圧を重畳する場合には $de(t)/dt$ が実質的に零となる時点は二点存在するので、仮にこの時点を t_1 および t_2 ($t_1 < t_2$) とすると演算部20は $p(t_1)$ および $p(t_2)$ から電力変化 P_{dif} を演算する。このとき、(i) $P_{dif} > 0$ のときには V_{op} を増加させるようにDC-DCコンバータ11を制御し、(ii) $P_{dif} < 0$ のときには V_{op} を減少させるようにDC-DCコンバータ11をフィードバック制御する。そして(iii) 電力変化 P_{dif} が実質的に零であれば $V-I$ 特性において2点 $p_1\{e(t_1), i(t_1)\}$ および $p_2\{e(t_2), i(t_2)\}$ は静特性上にあり、かつ静特性上の p_1 と p_2 の間に最大電力点 P_M が存在することがわかる。そこでコントローラ20はその時点での V_{op} を保持するようにDC-DCコンバータを制御する。

[0017] 図8には第1実施形態に係る太陽光発電装置のコントローラ20のより詳細な構成を示す。太陽電池パネル10の出力電圧 e および出力電流 i がコントローラ20に入力される。出力電圧 e は微分器22で時間微分されて演算部23に出力される。出力電圧および出力電流が乗算器21で乗算されて太陽電池パネルの出力電力 p として演算部23に出力される。演算部は出力電圧 e の時間微分 de/dt が実質的に零となる時

点 t_1 および t_2 を検出するサンプルホールド手段25、26を備える。第1サンプルホールド手段25は電圧微分信号が立ち上がるときに de/dt が実質的に零になる時点 t_1 での出力電力 $p(t_1)$ の値を保持する。第2サンプルホールド手段26は電圧微分信号が立ち下がるときに de/dt が実質的に零になる時点 t_2 での出力電力 $p(t_2)$ の値を保持する。

- [0018] 演算器27はサンプルホールドされた2つの電力出力 $p(t_1)$ と $p(t_2)$ の差分を演算することにより電力変化 P_{dif} を求め電力変化に相応した制御信号 V_{th} をコンパレータ28に出力する。図示しないが、演算器27は差分演算結果をさらに積算または積分してコンパレータへの制御信号 V_{th} とすることにより最適値へのより正確な収束を実現することができる。
- [0019] コンパレータ28は電力変化 P_{dif} に相応した制御信号 V_{th} に基づいてドライバ24を介してDC-DCコンバータ11に制御信号 V_c を出力し動作電圧 V_{op} を制御する。すなわち、電力変化 P_{dif} が実質的に零に収束するようにDC-DCコンバータ11を介して動作電圧 V_{op} をフィードバック制御することによって最大電力点 P_M の探索が実現する。
- [0020] その結果最大電力点 P_M が迅速に探索され常に最大電力点で太陽電池パネルが動作することが可能になる。本実施形態では、コンパレータ28は三角波等の参照波と閾値としての電力変化 P_{dif} とを比較してその結果に応じてDC-DCコンバータ11のスイッチングの通流率を制御するための制御信号 V_c をDC-DCコンバータ11に出力する。なお、DC-DCコンバータ11は制御信号 V_c に相応して最大電力点 P_M に収束するようにスイッチングの通流率、すなわち電氣的動作点を制御する。
- [0021] また、本実施形態では、数百Hzを超える周波数領域での掃引探索に適応することが可能であるため、DC-DCコンバータ11が発生するスイッチングリップル成分を最大電力点探索に利用することができる。なお、DC-DCコンバータ11のスイッチングの通流率を周期的に変動させる発振器を別途備えてもよいことは当業者であれば理解するであろう。
- [0022] 本実施形態によればサンプルホールド手段25、26はヒステリシスループが発生している場合であっても常に静特性上の電力値を正確に把握できるため掃引周波数

によらずに最大電力点を迅速に探知することが可能になる。

[0023] **第2実施形態**

図9には本発明の第2実施形態に係る太陽光発電装置のコントローラのより詳細な構成を示す。第1実施形態とは演算部のみが相違し他の構成は第1実施形態と同様であるので重複する説明は省略する。第1実施形態の装置は図7において電力変化Pdifを差分演算によって求めたが、本実施形態の装置は電力変化Pdifを微分演算を用いて求める点が異なる。

[0024] 本実施形態では電力変化Pdifを演算するために太陽電池パネルの出力電力pの時間微分 dp/dt を用いる。すなわち、電圧微分値が実質的に零となる時点 t_1 および t_2 について、電力微分値 dp/dt を時点 t_1 から t_2 まで定積分する。より具体的には、電圧微分値が $de/dt > 0$ の場合には、

[数2]

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{dp(t)}{dt} dt = [p(t)]_{t_1}^{t_2} = [P(V)]_{V_{op}-\Delta V}^{V_{op}+\Delta V} = P(V_{op} + \Delta V) - P(V_{op} - \Delta V) = P_{dif} \quad (2)$$

[0025] であり、電圧微分値が $de/dt < 0$ の場合には、

[数3]

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{dp(t)}{dt} dt = [p(t)]_{t_1}^{t_2} = [P(V)]_{V_{op}+\Delta V}^{V_{op}-\Delta V} = -P_{dif} \quad (3)$$

[0026] となる。したがって、極性切換えの関数 $h(t)$ を、

[数4]

$$h(t) = \begin{cases} dp(t)/dt & (de/dt > 0) \\ -dp(t)/dt & (de/dt < 0) \end{cases} \quad (4)$$

[0027] と定義すれば、

[数5]

$$P_{dif} = \int_{t_1}^{t_2} h(t) dt \quad (5)$$

[0028] で与えられる。なお、表現(1)により de/dt の極性をキャパシタ電流 i_c の極性(符号)

に置き換えても同じ結果が得られる。

[0029] 図9に示す本実施形態のコントローラ20は上記方法により電力変化 P_{dif} に相応する制御信号 V_{th} を生成する。すなわち、乗算器21で演算された出力電力 $p(t)$ は微分器31により時間微分されて符号切換器を介して積分器で定積分される。符号切換器としての同期整流器32は図10に例示するような制御信号 SW_{sync} により入力信号の符号を反転させて出力する増幅器を用いることができる。制御スイッチ232がオフのときには増幅器231の入力端子はいずれも入力電圧 V_{in} に等しいため抵抗器233および抵抗器235には電流が流れないので非反転増幅となる。また、制御スイッチ232がオンのときには増幅器231の反転入力(−)が接地電位と等しくなるため反転増幅となる。その結果同期整流器32は制御信号 SW_{sync} に同期して入力信号 V_i の符号を切り換えて出力する。

[0030] 微分器22から出力された電圧微分値 de/dt がコンパレータ34を介して同期整流器32の制御信号 SW_{sync} として入力されると同期整流器32はその制御信号の符号に従って表現(4)の演算を行う。その演算結果は表現(5)にしたがって $de/dt=0$ となる時点 t_1 および t_2 間で定積分される。その結果第1実施形態と同様にヒステリシスループが生じている場合であっても静特性に基づいた電力変化 P_{dif} が演算され最大電力条件の探査が迅速に行われる。また積分演算は時点 t_1 および t_2 間の各点における勾配 dp/dt の平均化演算でもあるためノイズの影響を受けにくい。

[0031] 本実施形態では時点 t_2 を次の定積分演算における時点 t_1 として定積分を繰り返す。すなわち、各定積分の結果は積算されてコンパレータ28に入力されるので積分器33は逐次演算される定積分とそれらの結果を積算する動作をおこなっている。したがって積分器33は入力信号を連続的に時間積分する機能さえ有していればよく、具体的には近似積分回路や低域通過フィルター等を使用することができる。

[0032] 第3実施形態

図11は本実施形態に係る太陽光発電装置を示すもので図7および図9に示す本発明の構成を実現したものであり、第2実施形態と同様に電力変化 P_{dif} を微分演算を用いて求める。

[0033] 図11に示す本実施形態の装置では電圧増幅器38により太陽電池パネル10の出

力電圧 e が検出される。また太陽電池パネル10の出力電流 i は検出抵抗 R_i で検出されトランスコンダクタンスアンプ21aで増幅される。一方出力電圧 e は電流源21bにより電圧 e に対応する電流に変換されてトランスコンダクタンスアンプ21aのバイアスとして供給されることによって電流 i と電圧 e が乗算されバッファ21cから電力値 p が出力される。電力値 p は微分器31で時間微分されて同期整流器32に入力される。一方出力電圧 e は微分器22で時間微分されてコンパレータ34で比較判断されて同期整流器32の制御端子に入力され表現(4)の演算を行う。その結果積分器33は、同期整流器の出力 $h(t)$ に対して表現(5)の演算を逐次行う。コンパレータ28は発振器29から出力された三角波を閾値として積分結果を比較判断しドライバ24を介してDC-DCコンバータのスイッチング素子SWchopの通流率を制御する。なお、積分器33は連続的に時間積分する積分回路で構成されており、逐次演算される定積分とそれらの結果を積算する動作をおこない電力変化 P_{dif} に相応する制御信号 V_{th}' を生成してコンパレータ28に出力する。

[0034] 本実施形態においては第2実施形態と同様に電圧微分値 de/dt に基づいて表現(5)で表される定積分の積分範囲($t_1 \leq t \leq t_2$)を判断している。したがって、時点 t_2 以降は $h(t)$ の極性が切り換わるので、新たな積分演算において時点 t_2 をあらためて時点 t_1 とし de/dt がさらに零を横切って符号が切り換わる時点 t_2 まで定積分を行う。すなわち、電氣的動作点を周期的に変動させ、出力電圧の時間微分値が零となった瞬間 t_1 から再度零となる瞬間 t_2 まで dp/dt を時間積分すると静特性上の2点 P_a および P_b における電力差が求められる。さらに出力電圧の時間微分値 de/dt の符号の変化に同期して dp/dt の極性を変更しながら積分するため積分結果は常に $P_b - P_a$ を示すことになってヒステリシスループが発生している場合であっても静特性上の2点における電力差を検出することができるので最大電力点の探査が可能となる。また、このような動作が逐次行われるため太陽電池パネル10の動作点を速やかに最大電力点 P_M に移動させることができる。

[0035] 本実施形態においても他の実施形態と同様にDC-DCコンバータ11が発生するスイッチングリップル成分を探査のための電氣的動作点の変動として利用できる。これは本実施形態の装置によればスイッチングリップル成分の変動速度に十分応答でき

るほどに最大電力条件の探査をおこなうことができるからである。なお、スイッチングリップル成分を使用せずに別途スイッチング素子SWchopの通流率を周期的に変動させる手段により探査のための動作点変動を生成してもよい。

[0036] 探査速度への適応

図12に本実施形態の装置により太陽電池パネルの最大電力条件の探査を実行した結果を示す。曲線IIは手動により各スイッチング周波数においてスイッチングの通流率を調整して最大電力条件を探査した場合の太陽電池パネル出力の理想的な周波数特性である。曲線IIIは従来の最大電力探査法による結果であり高周波数領域(6kHz以上)で適切な最大電力条件の探査に失敗している。これに対して本実施形態の装置によれば曲線Iに示すように、探査速度が高周波領域にあり太陽電池パネルの動特性が顕著なヒステリシスループを生じた場合であっても理想的な周波数特性に匹敵する結果が得られる。

[0037] 図13には本実施形態の装置においてスイッチング周波数を20kHzとしたときの動作点の探査の結果を示す。図に示すように探査が適切に実行されて $de/dt=0$ (または $i_c=0$)の時点で太陽電池パネルの動特性応答の中から太陽電池パネルの静特性を感知した結果、探知範囲が最大電力点 P_M の近傍である動作点 $p1$ 、 $p1$ 間(探査域 S_M)に収束している。

[0038] また、本実施形態の装置によれば太陽電池パネルの発電量が急激に変化した場合であっても1ms以内に変更された最大電力点を正しく探査することができた。

[0039] 以上、本発明の実施形態を詳述したが、本発明はこれらの実施例に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の変更も本発明に含まれる。例えば、実施形態においては、電力微分値検出器と電圧微分器を複数の検出器および演算器を組み合わせで構成したがこれらの微分値が直接的に得られる検出手段を用いてもよい。

[0040] 本出願は日本国特許出願特願2003-380566(2003年11月10日出願)を基礎として米国特許法(35USC § 119)に基づく優先権を主張するものであり、当該内容は文献として本出願に援用される。

請求の範囲

- [1] DC-DCコンバータを介して太陽電池パネルが発生する電力を出力する太陽光発電装置であって、
前記太陽電池パネルの出力電圧の時間微分値が実質的に零となる時点における前記太陽電池パネルの出力電力に基づいて前記DC-DCコンバータを制御し前記太陽電池パネルの最大電力条件を探索することを特徴とする装置。
- [2] 請求項1記載の太陽光発電装置であって、
前記出力電圧の時間微分値が実質的に零となる第1の時点における前記太陽電池パネルの第1の出力電力および第2の時点における前記太陽電池パネルの第2の出力電力の差に基づいて前記太陽電池パネルの最大電力条件を探索することを特徴とする装置。
- [3] 請求項2記載の太陽光発電装置であって、
前記第1の出力電力および前記第2の出力電力の差は前記太陽電池パネルの出力電力の時間微分を前記第1の時点から前記第2の時点まで積分した値に基づいて演算されることを特徴とする装置。
- [4] 請求項1乃至3記載の太陽光発電装置であって、前記DC-DCコンバータの制御はスイッチングの通流率の制御であることを特徴とする装置。
- [5] 請求項2乃至4記載の太陽光発電装置であって、前記DC-DCコンバータのスイッチングリップルを前記最大電力条件を探索するための掃引信号として用いることを特徴とする装置。
- [6] 請求項1乃至5記載の太陽光発電装置であって、
前記太陽電池パネルの出力電圧の時間微分値が実質的に零となる時点と、前記太陽電池パネルの等価キャパシタを流れる電流が実質的に零となる時点とすることを特徴とする装置。
- [7] DC-DCコンバータを介して太陽電池パネルが発生する電力を出力する太陽光発電装置の制御方法であって、
前記太陽電池パネルの出力電圧の時間微分値が実質的に零となる時点を検出す

ることと、

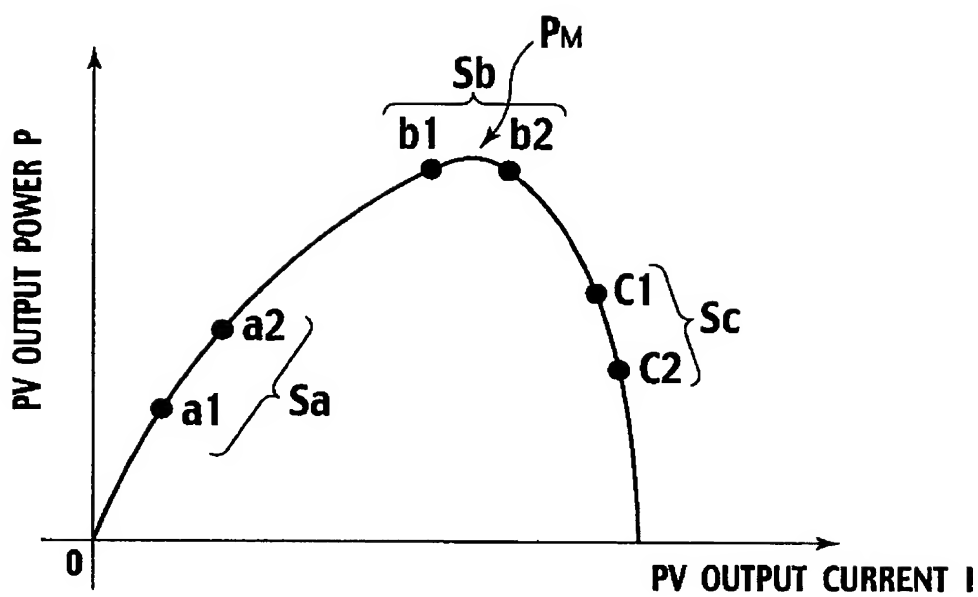
前記検出された時点における前記太陽電池パネルの出力電力に基づいて前記DC-DCコンバータを制御し前記太陽電池パネルの最大電力条件を探索することを特徴とする方法。

[8] 請求項7記載の太陽光発電装置の制御方法であって、

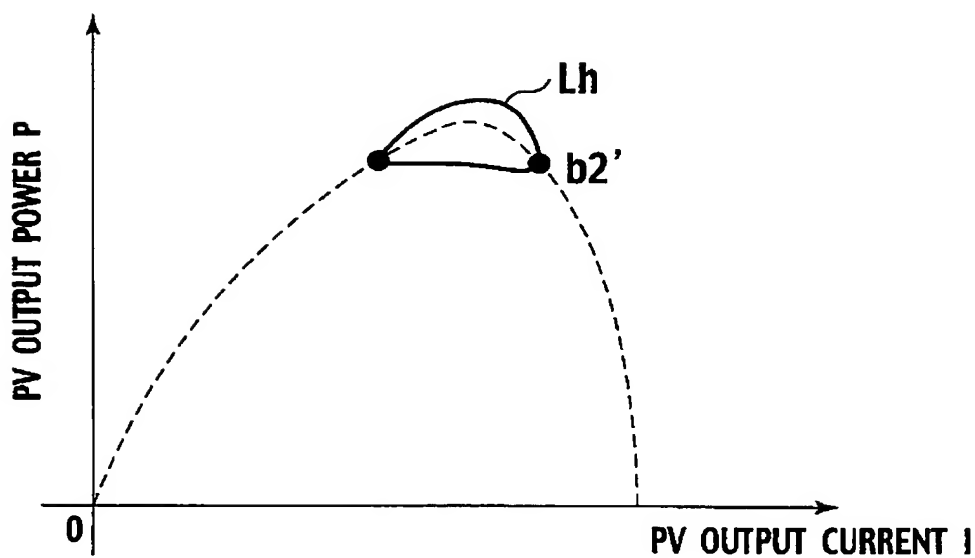
前記DC-DCコンバータを制御する段階は、前記出力電圧の時間微分値が実質的に零となる第1の時点における前記太陽電池パネルの第1の出力電力および前記出力電圧の時間微分値が実質的に零となる別の第2の時点における前記太陽電池パネルの第2の出力電力の差に基づいて前記DC-DCコンバータを制御することを特徴とする方法。

[9] 請求項7または8記載の太陽光発電装置の制御方法であって、前記DC-DCコンバータのスイッチングリップルを前記最大電力条件を探索するための掃引信号として用いることを特徴とする方法。

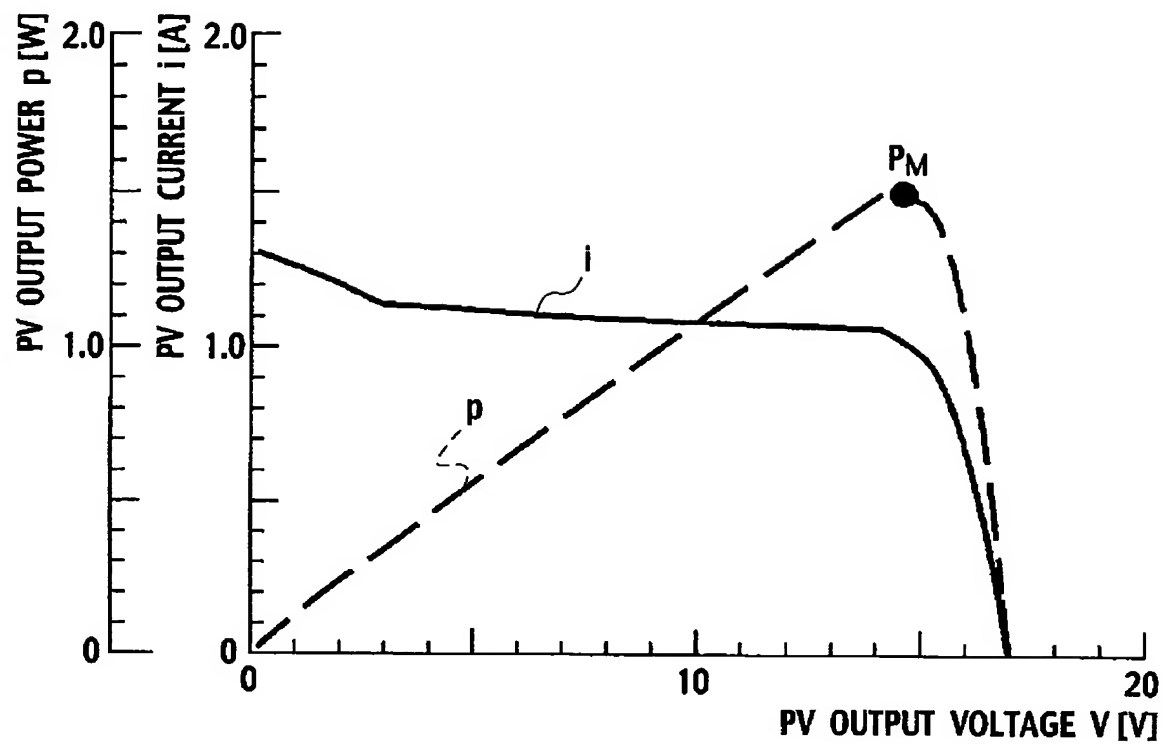
[図1]



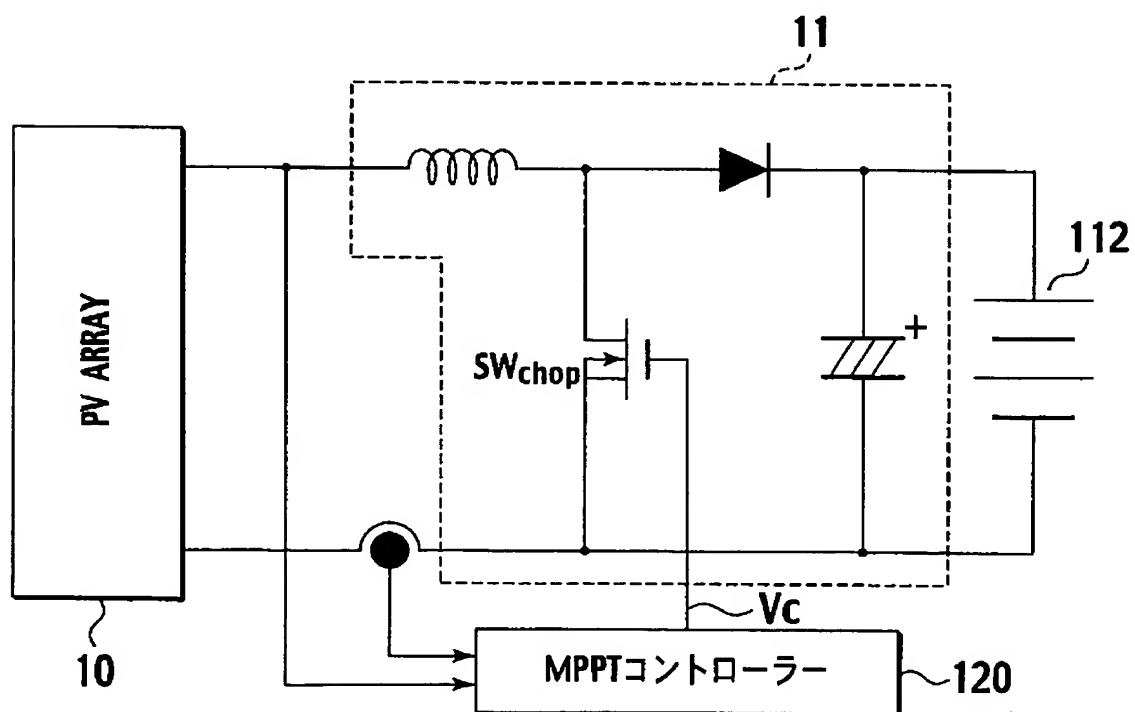
[図2]



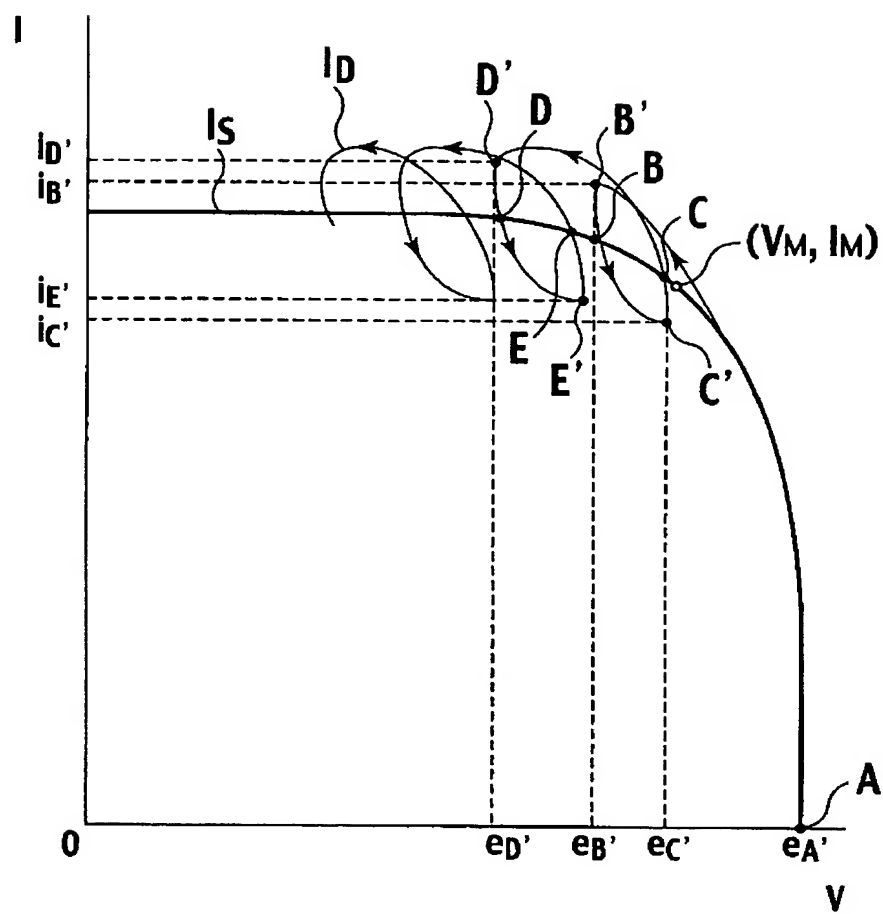
[図3]



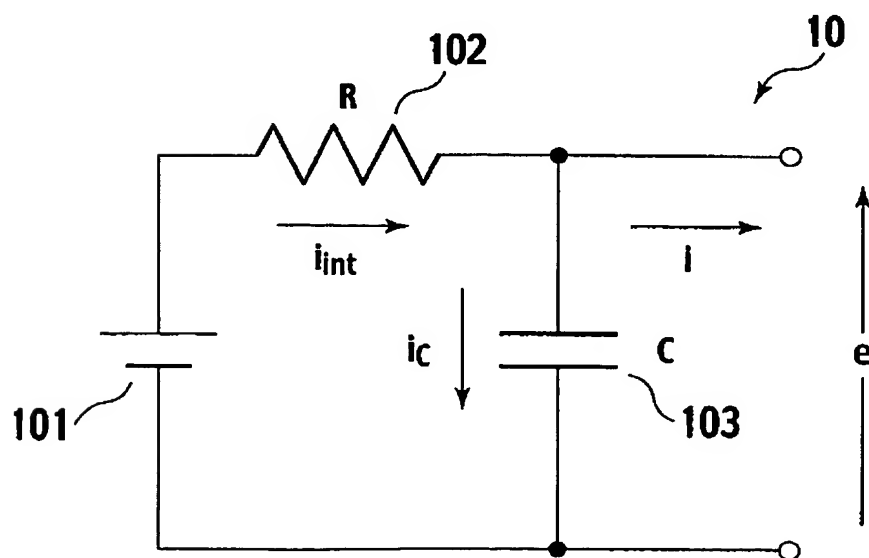
[図4]



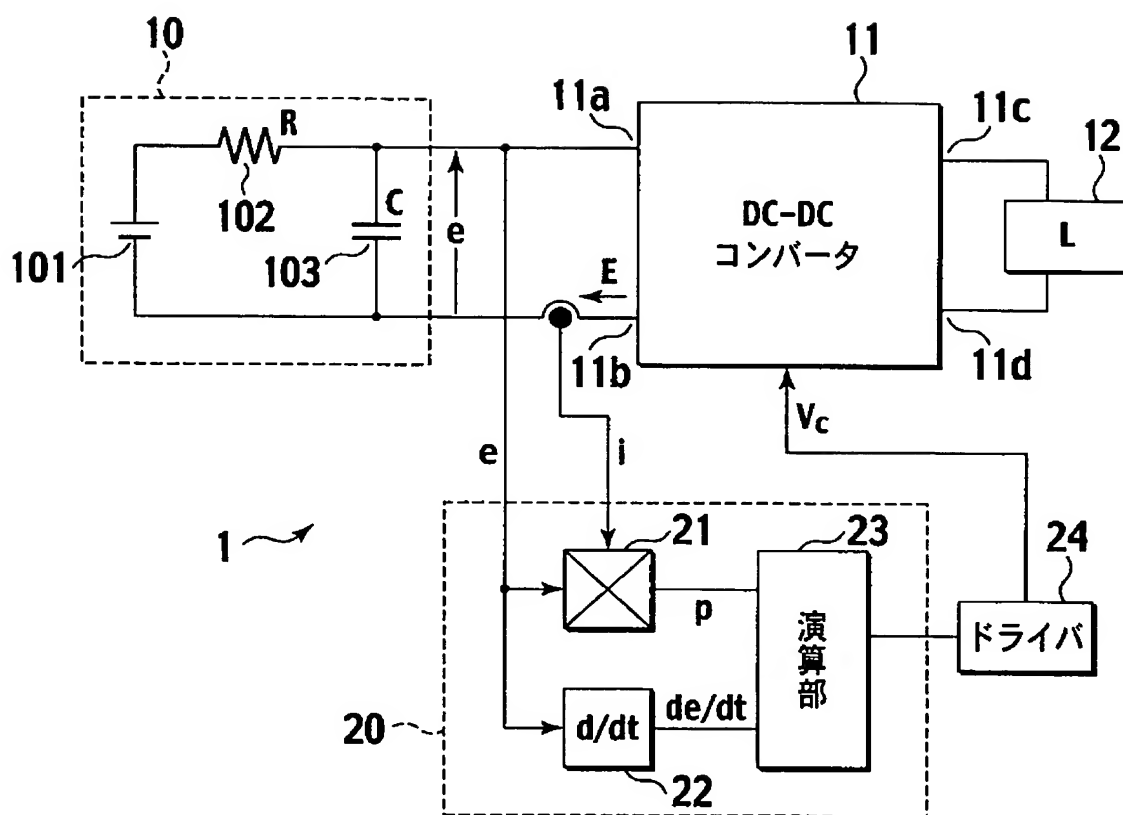
[図5]



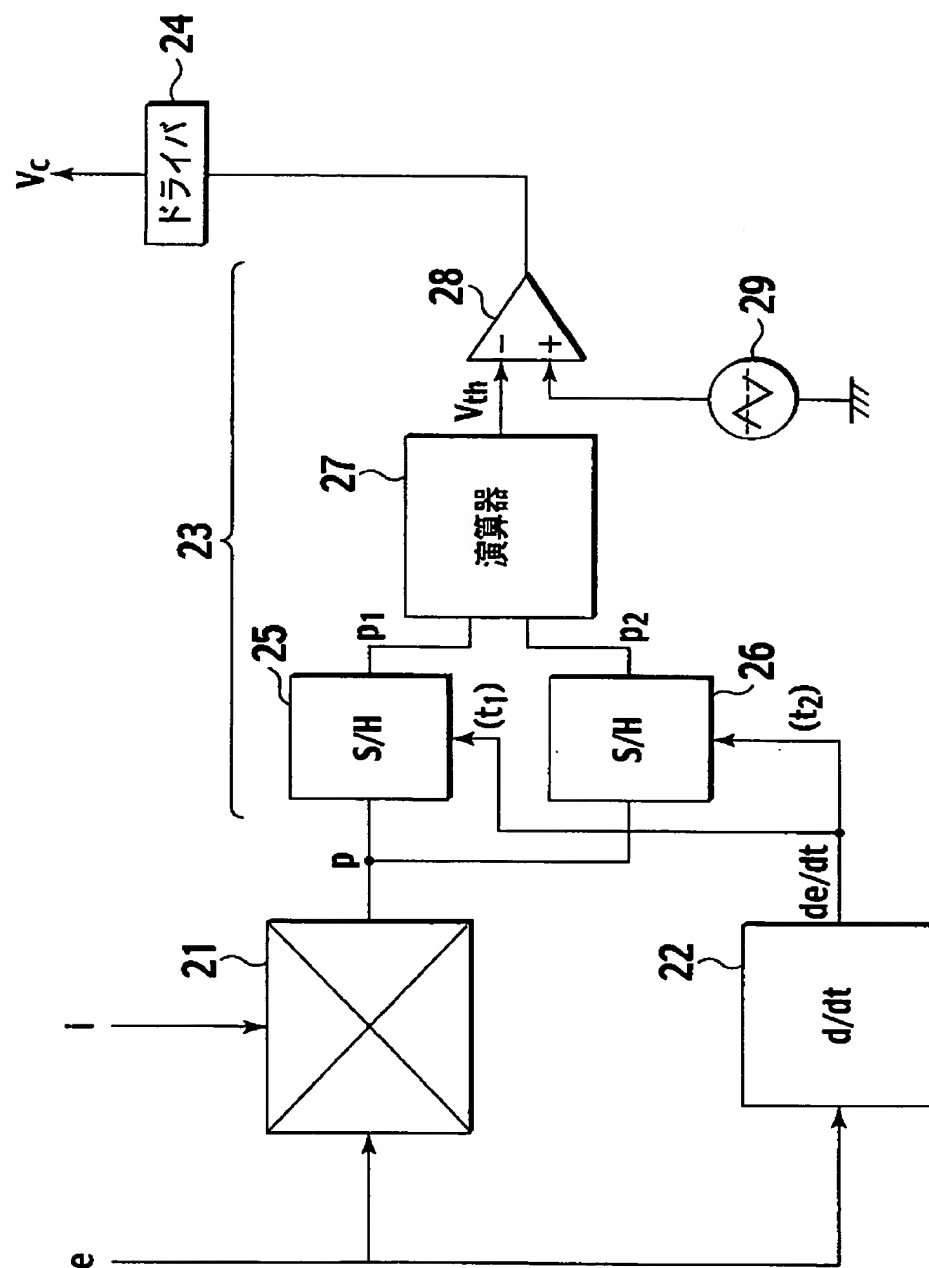
[図6]



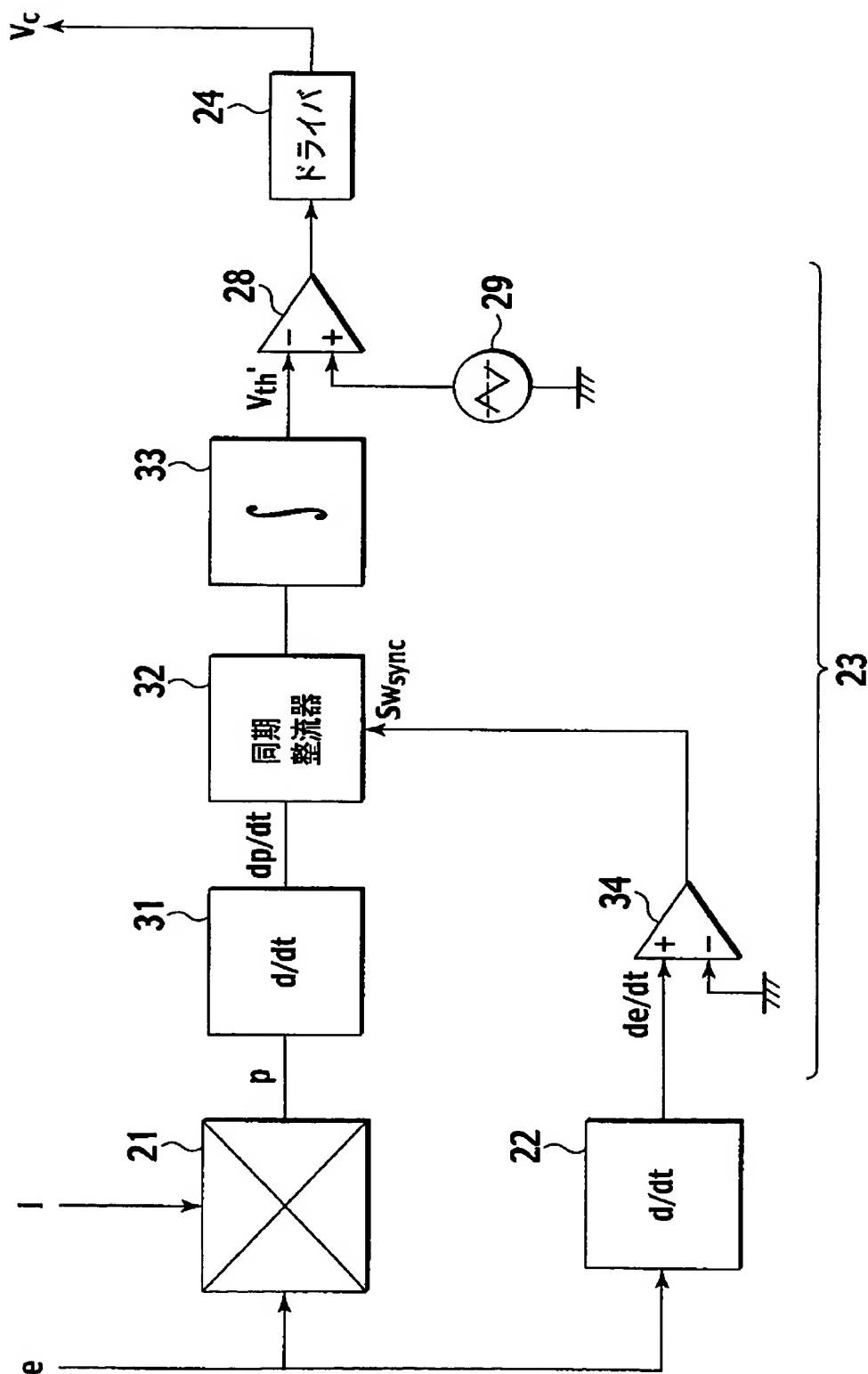
[図7]



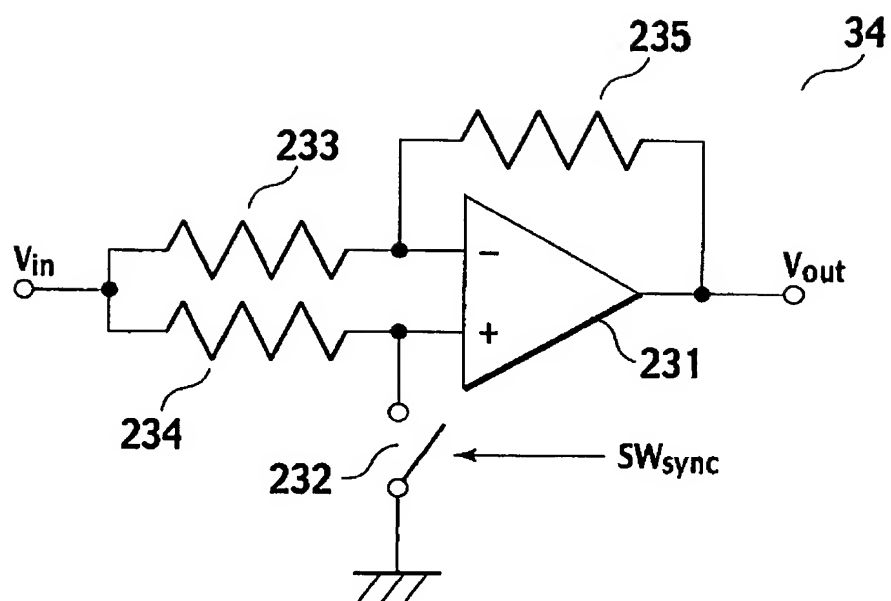
[図8]



[図9]

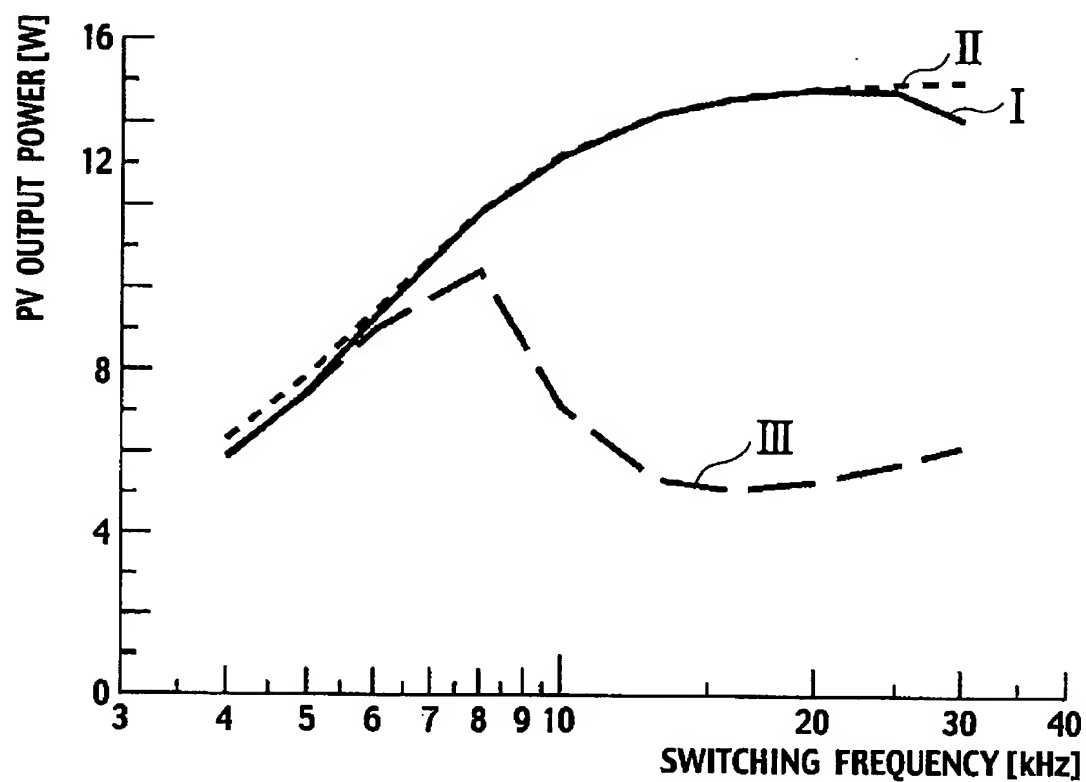


[図10]



The circuit diagram illustrates a variable gain amplifier system. It features two input sources at the top: a photovoltaic source labeled "PV" (10) and a load source labeled "L" (12). The PV source is connected through a resistor network to a summing junction. A switch labeled "SW_{chop}" is used to chop the signal between the PV source and ground. The output of the summing junction is fed into a multi-stage op-amp circuit. This circuit includes a first stage (21) with inputs from the summing junction and a feedback path. Subsequent stages include a second stage (22) with a differential pair and a third stage (23) which is a fully differential amplifier. The final output is taken from the third stage. Various control signals are shown, including "ENABLE" and "Carrier". Resistor values are indicated by "R_i". Capacitors are represented by parallel lines. Diodes are shown with their characteristic symbols.

[図12]



[図13]

